

1/5/1 (Item 1 from file: 351)  
DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2006 The Thomson Corporation. All rts. reserv.

0013216167 - Drawing available  
WPI ACC NO: 2003-300774/200329  
XRAM Acc No: C2003-078453  
XRPX Acc No: N2003-239262  
Insulating film formation comprises forming oxidised silicon  
film, forming  
nitride film and forming high permittivity film  
Patent Assignee: KUMAI T (KUMA-I); MURAKAWA S (MURA-I);  
NAKANISHI T  
(NAKA-I); TOKYO ELECTRON LTD (TKEL)  
Inventor: KUMAI T; KUMAI T T E L; MURAKAWA E; MURAKAWA S;  
MURAKAWA S T E L;

NAKANISHI T; NAKANISHI T T E L  
Patent Family (8 patents, 101 countries)  
Patent Application  
Number Kind Date Number Kind Date  
Update  
WO 2003019644 A1 20030306 WO 2002JP8735 A 20020829  
200329 B  
JP 2003068731 A 20030307 JP 2001260179 A 20010829  
200329 E  
KR 2003051883 A 20030625 KR 2003707141 A 20030528  
200373 E  
TW 565892 A 20031211 TW 2002119748 A 20020829  
200434 E  
EP 1422752 A1 20040526 EP 2002772825 A 20020829  
200435 E  
WO 2002JP8735 A 20020829  
AU 2002338198 A1 20030310 AU 2002338198 A 20020829  
200452 E  
US 20040245584 A1 20041209 WO 2002JP8735 A 20020829  
200481 E  
US 2004487986 A 20040227  
JP 3746968 B2 20060222 JP 2001260179 A 20010829  
200618 E

Priority Applications (no., kind, date): JP 2001260179 A  
20010829

#### Patent Details

Number	Kind	Lan	Pg	Dwg	Filing Notes
WO 2003019644	A1	JA	34	6	
National Designated States,Original: AE AG AL AM AT AU AZ BA BB BG BR BY BZ CA CH CN CO CR CU CZ DE DK DM DZ EC EE ES FI GB GD GE GH GM HR HU ID IL IN IS KE KG KP KR KZ LC LK LR LS LT LU LV MA MD MG MK MN MW MX MZ NO NZ OM PH PL PT RO RU SD SE SG SI SK SL TJ TM TN TR TT TZ UA UG US UZ VC VN YU ZA ZM ZW					
Regional Designated States,Original: AT BE BG CH CY CZ DE DK EA EE ES FI FR GB GH GM GR IE IT KE LS LU MC MW MZ NL OA PT SD SE SK SL SZ TR TZ UG ZM ZW					

JP 2003068731	A	JA	12	
TW 565892	A	ZH		
EP 1422752	A1	EN		PCT Application WO
2002JP8735				
				Based on OPI patent WO
2003019644				
Regional Designated States, Original: AL AT BE BG CH CY CZ DE				
DK EE ES FI				
FR GB GR IE IT LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI SK TR				
AU 2002338198	A1	EN		Based on OPI patent WO
2003019644				
US 20040245584	A1	EN		PCT Application WO
2002JP8735				
JP 3746968	B2	JA	18	Previously issued patent
JP 2003068731				

Alerting Abstract WO A1

NOVELTY - A method of forming an insulating film (104) comprises forming a oxidised silicon film (106) on the surface of silicone substrate, forming a silicon nitride film (107) on the oxidised silicon film and forming a film (108) having higher permittivity than the oxidised silicon film on the nitride film.

DESCRIPTION - The oxidised silicon film is formed by exposing the substrate in a plasma formed by irradiating gas containing oxygen using microwaves from a flat antenna having multiple slits. The nitride film is formed by exposing the oxidised silicon film in a plasma generated by irradiating gas containing N2.

An INDEPENDENT CLAIM is also included for a system for forming insulating films.

USE - Forming insulating films on ultrafine transistors.

ADVANTAGE - The films formed have high reliability.

DESCRIPTION OF DRAWINGS - The drawing illustrates MISFET.

104 Gate insulation film

106 Silicon oxide film

107 Silicon nitride film

108 High permittivity film

Title Terms/Index Terms/Additional Words: INSULATE; FILM; FORMATION;

COMPRISE; FORMING; OXIDATION; SILICON; NITRIDE; HIGH; PERMITTIVITY

Class Codes

International Classification (Main): H01L-021/205, H01L-021/31, H01L-021/316, H01L-029/76

(Additional/Secondary): H01L-021/314, H01L-021/318, H01L-029/78

International Classification (+ Attributes)

IPC + Level Value Position Status Version

H01L-0021/316 A I F B 20060101

H01L-0021/318 A I L B 20060101

H01L-0029/78 A I L B 20060101  
H01L-0021/02 C I F B 20060101  
H01L-0021/02 C I L B 20060101  
H01L-0029/66 C I L B 20060101  
US Classification, Issued: 257411000

File Segment: CPI; EPI  
DWPI Class: L03; U11; U12  
Manual Codes (EPI/S-X): U11-C05B1; U11-C05B2; U11-C05B5; U11-  
C05B7;  
U11-C18A3; U12-D02A  
Manual Codes (CPI/A-M): L04-C12A; L04-C12B; L04-E01C

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-68731

(P2003-68731A)

(43) 公開日 平成15年3月7日(2003.3.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 L 21/316		H 0 1 L 21/316	M 5 F 0 5 8
			A 5 F 1 4 0
			P
21/318		21/318	A
29/78		29/78	3 0 1 G
審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-260179(P2001-260179)

(22) 出願日 平成13年8月29日(2001.8.29)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 村川 恵美

東京都港区赤坂5丁目3番6号 TBS放

送センター 東京エレクトロン株式会社内

(72) 発明者 熊井 寿和

東京都港区赤坂5丁目3番6号 TBS放

送センター 東京エレクトロン株式会社内

(74) 代理人 100095407

弁理士 木村 満

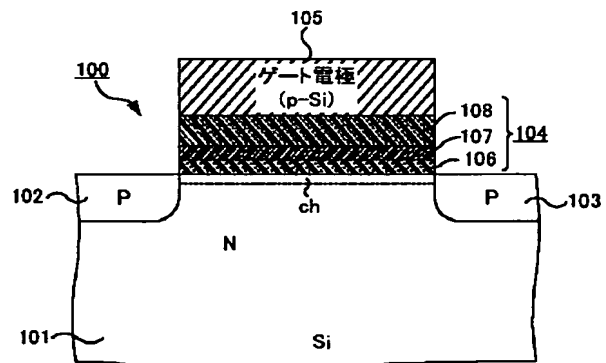
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 絶縁膜の形成方法および形成システム

(57) 【要約】

【課題】 信頼性の高い絶縁膜の形成方法および形成システムを提供する。

【解決手段】 MISFET 100 のゲート絶縁膜 104 を、シリコン酸化膜 106 と、シリコン窒化膜 107 と、高誘電率膜 108 と、から構成する。シリコン酸化膜 106 およびシリコン窒化膜 107 は、ラジアルラインスロットアンテナを用いたマイクロ波プラズマ処理によって形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成する酸化膜形成工程と、

前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する窒化膜形成工程と、

前記シリコン窒化膜上に、シリコン酸化膜よりも誘電率の高い誘電率膜を形成する工程と、を備え、

前記酸化膜形成工程は、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露し、前記シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成する工程を備え、

前記窒化膜形成工程は、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露し、前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する工程を備える、ことを特徴とする絶縁膜の形成方法。

【請求項2】前記酸化膜形成工程は、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露することにより、前記シリコン基板上に既に存在する酸化膜を改質する工程を含む、ことを特徴とする請求項1に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項3】前記酸化膜形成工程は、前記シリコン基板の表面を露出する工程と、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の露出された表面を曝露することにより、前記シリコン基板の表面領域を酸化する工程と、を備える、ことを特徴とする請求項1又は2に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項4】前記窒化膜形成工程は、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露することにより、前記シリコン酸化膜の表面領域を窒化する工程を備える、ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項5】前記誘電率膜は、金属を主成分として構成され、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記誘電率膜の表面を曝露することにより、前記誘電率膜を改質する誘電率膜改質工程をさらに備える、ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項6】前記誘電率膜改質工程では、前記酸素を含むガスのプラズマにより前記誘電率膜中の炭素を除去する、ことを特徴とする請求項5に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項7】前記酸化膜形成工程では前記シリコン酸化膜を1nm～20nmの厚さで形成し、前記窒化膜形成

工程では、前記シリコン窒化膜を0.5nm～6nmの厚さで形成する、ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項8】前記ガスはアルゴンを含んで構成される、ことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項9】前記絶縁膜は、絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート絶縁膜を構成する、ことを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項10】シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成する酸化膜形成ユニットと、

前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する窒化膜形成ユニットと、

前記シリコン窒化膜上に、シリコン酸化膜よりも比誘電率の高い誘電率膜を形成する誘電膜形成ユニットと、を備え、

前記酸化膜形成ユニットは、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露し、前記シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成し、

前記窒化膜形成ユニットは、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露し、前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する、ことを特徴とする絶縁膜の形成システム。

【請求項11】前記酸化膜形成ユニットは、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露することにより、前記シリコン基板上に既に存在する酸化膜を改質する、ことを特徴とする請求項10に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項12】前記酸化膜形成ユニットは、前記シリコン基板の表面を露出し、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の露出された表面を曝露することにより、前記シリコン基板の表面領域を酸化する、ことを特徴とする請求項10又は11に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項13】前記窒化膜形成ユニットは、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露することにより、前記シリコン酸化膜の表面領域を窒化する、ことを特徴とする請求項10乃至12のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項14】前記誘電率膜は、金属を主成分として構成され、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記誘電率膜の表面を曝露することにより、前記誘

電率膜を改質する誘電率膜改質ユニットをさらに備える、ことを特徴とする請求項10乃至13のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項15】前記誘電率膜改質ユニットでは、前記酸素を含むガスのプラズマにより前記誘電率膜中の炭素を除去する、ことを特徴とする請求項14に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項16】前記酸化膜形成ユニットで、前記シリコン酸化膜は1nm～20nmの厚さで形成され、前記窒化膜形成ユニットで、前記シリコン窒化膜は0.5nm～6nmの厚さで形成される、ことを特徴とする請求項10乃至15のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項17】前記ガスはアルゴンを含んで構成される、ことを特徴とする請求項10乃至16のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成システム。

【請求項18】前記絶縁膜は、絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート絶縁膜を構成する、ことを特徴とする請求項10乃至17のいずれか1項に記載の絶縁膜の形成システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、信頼性の高い絶縁膜の形成方法および形成システムに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の高集積化、高微細化に伴って、半導体集積回路に組み込まれる絶縁ゲート型電界効果トランジスタ(Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor: MISFET)の微細化が進んでいる。微細化に伴い、現在、MISFETのゲート絶縁膜の厚さは、数nm程度の極めて薄い厚さが要求されている。

【0003】一般的に、ゲート絶縁膜は、シリコン基板の熱酸化により形成されるシリコン酸化膜( $\text{SiO}_2$ 膜)が用いられる。しかし、シリコン酸化膜を数nm程度まで薄くすると、リーク(トンネル)電流の増加、ゲート電極(ポリシリコン等)からの不純物の突き抜け等が問題となる。

【0004】トンネル電流の増加等を抑制するため、薄膜のシリコン酸化膜(またはシリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜)上に、シリコン酸化膜よりも比誘電率の高い膜(高誘電率膜)を積層した積層ゲート絶縁膜が開発されている。積層ゲート絶縁膜を用いることにより、ゲート絶縁膜のある程度の物理的厚さを確保しつつ、実効酸化膜換算膜厚( $\text{EOT}$ )を低く維持することができる。ここで、実効酸化膜換算膜厚は、比誘電率 $\epsilon$ 、実膜厚 $t$ の膜の厚さを、比誘電率 $\epsilon_{\text{SiO}_2}$ のシリコン酸化膜の厚さに換算した値であり、 $\text{EOT} = (\epsilon_{\text{SiO}_2} / \epsilon) \cdot t$ で定義される。

【0005】高誘電率膜としてシリコン窒化膜( $\text{SiN}$

膜)を用いた積層ゲート絶縁膜の形成方法が、特開2000-294550号公報に開示されている。上記公報に開示の方法により形成される絶縁ゲートは、ラジアルラインスロットアンテナ(RLSA)を備えるプラズマ処理装置を用いて1nm以下の厚さで形成された直接酸窒化膜(あるいは、酸化膜または窒化膜)と、この酸窒化膜上にCVDにより形成された2nm程度の $\text{SiN}$ 膜と、から構成される。

【0006】RLSA型プラズマ処理装置を用いた場合には、CVDにより形成した場合と比べて、ダングリングボンドが少ない、より品質の高い膜が形成される。また、RLSA型プラズマ処理装置を用いた膜形成処理は、比較的低温(250℃～450℃)で行われるので、他のプラズマ処理と比べて、膜表面のダメージは低減される。このように、RLSA型プラズマ処理装置により形成された膜は、高品質であり、従って、1000℃程度の高温でのアニール処理は必要でなく、ドーパントの拡散等も防がれる。

【0007】ここで、上記積層ゲート絶縁膜は、高誘電率膜として $\text{SiN}$ 膜を用いている。 $\text{SiN}$ 膜の比誘電率は8程度であり、従って、 $\text{SiN}$ 膜の $\text{EOT}$ は、実膜厚の0.5(=4/8)倍程度にしかない。このため、微細化の要求に応えるべく、十分に厚い物理的膜厚を確保しつつ、十分に薄い $\text{EOT}$ を得るには、 $\text{SiN}$ 膜を用いた場合には限界がある。

【0008】このため、より比誘電率の高い無機系の絶縁膜、例えば、酸化アルミニウム(比誘電率:11)、酸化ジルコニウム(24)、酸化ハフニウム(25)等を用いて、より $\text{EOT}$ の薄い積層ゲート絶縁膜を得ることができる。例えば、比誘電率が24の酸化ジルコニウムを用いた場合には、実膜厚の0.17(=4/24)倍程度の $\text{EOT}$ が得られることになる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、無機系の高誘電率膜を用いることにより、所望の誘電率を備えるゲート絶縁膜が得られる。しかし、シリコン酸化膜の上に、無機系の高誘電率膜を直接形成すると、シリコン酸化膜と無機系膜とが反応してしまう。これにより、積層ゲート絶縁膜全体の $\text{EOT}$ が増大してしまう。

【0010】また、一般に、上記無機系の高誘電率膜は、例えば、金属エトキシドのような有機金属を前駆体としてCVDにより成膜される。このため、成膜後の高誘電率膜は、数%の炭素を含むものとなる。炭素含有量が高いと、リーク電流が増大するなど、信頼性を低下させる。

【0011】このように、従来、十分に厚い物理的厚さを備えたとともに、十分に薄い $\text{EOT}$ を実現可能な、信頼性の高いゲート絶縁膜を製造することは難しかった。

【0012】上記事情を鑑みて、本発明は、信頼性の高

い絶縁膜の製造が可能な絶縁膜の形成方法および形成システムを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の第1の観点にかかる絶縁膜の形成方法は、シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成する酸化膜形成工程と、前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する窒化膜形成工程と、前記シリコン窒化膜上に、シリコン酸化膜よりも誘電率の高い誘電率膜を形成する工程と、を備え、前記酸化膜形成工程は、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露し、前記シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成する工程を備え、前記窒化膜形成工程は、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露し、前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する工程を備える、ことを特徴とする。

【0014】上記構成において、前記酸化膜形成工程は、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露することにより、前記シリコン基板上に既に存在する酸化膜を改質する工程を含むことが望ましい。

【0015】上記構成において、前記酸化膜形成工程は、前記シリコン基板の表面を露出する工程と、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の露出された表面を曝露することにより、前記シリコン基板の表面領域を酸化する工程と、を備えることが望ましい。

【0016】上記構成において、前記窒化膜形成工程は、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露することにより、前記シリコン酸化膜の表面領域を窒化する工程を備えることが望ましい。

【0017】上記構成において、前記誘電率膜は、金属を主成分として構成され、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記誘電率膜の表面を曝露することにより、前記高誘電率膜の表面を改質する誘電率膜改質工程をさらに備えてもよい。また、上記構成において、前記誘電率膜改質工程では、例えば、前記酸素を含むガスのプラズマにより前記誘電率膜中の炭素を除去する。

【0018】上記構成において、例えば、前記酸化膜形成工程では前記シリコン酸化膜を1nm～20nmの厚さで形成し、前記窒化膜形成工程では、前記シリコン窒

化膜を0.5nm～6nmの厚さで形成する。

【0019】上記構成において、前記ガスはアルゴンを含んで構成されることが望ましい。

【0020】上記構成において、例えば、前記絶縁膜は、絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート絶縁膜を構成する。

【0021】上記目的を達成するため、本発明の第2の観点にかかる絶縁膜の形成システムは、シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成する酸化膜形成ユニットと、前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する窒化膜形成ユニットと、前記シリコン窒化膜上に、シリコン酸化膜よりも比誘電率の高い誘電率膜を形成する誘電膜形成ユニットと、を備え、前記酸化膜形成ユニットは、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露し、前記シリコン基板の表面領域にシリコン酸化膜を形成し、前記窒化膜形成ユニットは、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露し、前記シリコン酸化膜の表面領域にシリコン窒化膜を形成する、ことを特徴とする。

【0022】上記構成において、前記酸化膜形成ユニットは、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の表面を曝露することにより、前記シリコン基板上に既に存在する酸化膜を改質することが望ましい。

【0023】上記構成において、前記酸化膜形成ユニットは、前記シリコン基板の表面を露出し、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン基板の露出された表面を曝露することにより、前記シリコン基板の表面領域を酸化することが望ましい。

【0024】上記構成において、前記窒化膜形成ユニットは、窒素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記シリコン酸化膜の表面を曝露することにより、前記シリコン酸化膜の表面領域を窒化することが望ましい。

【0025】上記構成において、前記誘電率膜は、金属を主成分として構成され、酸素を含むガスに、複数のスリットを備える平面アンテナからマイクロ波を照射して生成したプラズマに、前記誘電率膜の表面を曝露することにより、前記誘電率膜の表面を改質する誘電率膜改質ユニットをさらに備えてもよい。また、上記構成において、前記誘電率膜改質ユニットでは、例えば、前記酸素を含むガスのプラズマにより前記誘電率膜中の炭素を除去する。

【0026】上記構成において、例えば、前記酸化膜形

成ユニットで、前記シリコン酸化膜は1 nm～20 nmの厚さで形成され、前記窒化膜形成ユニットで、前記シリコン窒化膜は0.5 nm～6 nmの厚さで形成される。

【0027】上記構成において、前記ガスはアルゴンを含んで構成されることが望ましい。

【0028】上記構成において、前記絶縁膜は、例えば、絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート絶縁膜を構成する。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本実施の形態にかかる絶縁膜の形成方法について、図面を参照して説明する。

【0030】本実施の形態により形成される絶縁膜は、図1に示す絶縁ゲート型電界効果トランジスタ(Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor: MISFET)を構成する。

【0031】図1に示すように、MISFET100は、N型のシリコン基板101の表面領域に設けられたP型のドレイン領域102およびソース領域103と、ドレイン領域102およびソース領域103に挟まれたシリコン基板101の表面領域(チャネル領域)の上に設けられたゲート絶縁膜104と、ゲート絶縁膜104上に設けられたゲート電極105と、を備える。ドレイン領域102およびソース領域103は、それぞれ、MISFET100を構成するドレイン電極およびソース電極に接続されている。なお、シリコン基板101と、ドレイン領域102およびソース領域103と、は、それぞれ、逆の導電型であってもよい。

【0032】ドレイン領域102およびソース領域103に挟まれたシリコン基板101上には、ゲート絶縁膜104を介して、ゲート電極105が設けられている。ゲート電極105は、ポリシリコン(p-Si)から構成されている。ゲート電極105はMISFET100を構成し、ゲート電圧の印加の際にはゲート絶縁膜104の下シリコン基板101表面に、チャネル(ch)が形成され、ソースドレイン間が接続される。

【0033】ゲート絶縁膜104は、シリコン酸化膜(SiO<sub>2</sub>膜)106と、シリコン窒化膜(SiN膜)107と、高誘電率膜108と、から構成される。

【0034】シリコン酸化膜106は、シリコン基板101の表面領域(チャネルch)の上に設けられている。シリコン酸化膜106は、後述するラジアルラインスロットアンテナ(RLSA)を備えるプラズマ処理装置を用いた、シリコン基板101の表面領域の酸化処理によって形成される。シリコン酸化膜106は、例えば、0.5 nm～14 nmの厚さで形成される。

【0035】シリコン窒化膜107は、シリコン酸化膜106に積層されて設けられている。シリコン窒化膜107は、RLSA型プラズマ処理装置を用いた、シリコン酸化膜106の窒化処理によって形成される。シリコ

ン窒化膜107は、例えば、0.5 nm～6 nmの厚さで設けられる。

【0036】高誘電率膜108は、シリコン窒化膜107とゲート電極105とに挟まれて設けられている。高誘電率膜108は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、HfSiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZrSiO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>等の無機(金属)系材料から構成される。高誘電率膜108は、CVD(Chemical Vapor Deposition)により、例えば、1 nm～20 nmの厚さで形成される。ここで、高誘電率膜とは、シリコン酸化膜の被誘電率(4程度)よりも高い誘電率を有する膜をいう。

【0037】次に、上記ゲート絶縁膜104の形成方法について、図面を参照して説明する。図2に、本実施の形態にかかるゲート絶縁膜の形成システム10の構成を示す。図2に示すように、ゲート絶縁膜の形成システム10は、カセットステーション11と、処理ステーション12と、から構成される。

【0038】カセットステーション11は、カセット載置台13と、第1搬送室14と、を備える。カセット載置台13には、所定枚数のウェハを収容可能なカセットCが載置される。カセット載置台13には、未処理のウェハを収容したカセットCが載置される一方で、処理後のウェハを収容したカセットCが載置台13から搬出される。

【0039】第1搬送室14には、アームを有する第1搬送機構15が配置されている。第1搬送機構15は、カセットCに収容されたウェハを処理ステーション12側に搬入する一方で、処理ステーション12側から処理後のウェハを搬出し、カセットCに収容する。第1搬送室14の内部は、清浄空気の下フローにより清浄に保たれている。

【0040】処理ステーション12は、第2搬送室16と、ロードロックユニット17a、17bと、エッチングユニット18と、酸化処理ユニット19と、窒化処理ユニット20と、CVDユニット21と、アニールユニット22と、予備ユニット23と、から構成される。

【0041】略八角形の第2搬送室16の周囲には、ゲートバルブ24を介して各ユニットが接続されている。すなわち、処理ステーション12は、クラスター型のシステムを構成している。第2搬送室16は排気機構等を備え、減圧可能となっている。また、ゲートバルブ24によって隔絶された各ユニット17～23は、それぞれが排気機構を備え、その内部に第2搬送室16とは独立した雰囲気形成可能となっている。

【0042】第2搬送室16の中央には、第2搬送機構25が設置されている。第2搬送機構25は、アームを備え、各ユニット17～23間におけるウェハの搬送を行う。

【0043】ロードロックユニット17a、17bは、カセットステーション11の第1搬送室14に接続され

ている。ロードロックユニット17aは、処理ステーション12へのウェハ搬入用ポートとして機能し、ロードロックユニット17bは、ウェハ搬出用のポートとして機能する。第1搬送機構15は、カセット載置台13のカセットCに収容されたウェハをロードロックユニット17a内に搬入する。また、第1搬送機構15は、ロードロックユニット17bから、処理後のウェハを搬出し、カセットCに収容する。

【0044】エッチングユニット18では、ウェハ（以下、ウェハW）表面に形成された自然酸化膜（シリコン酸化膜）を除去する。図3にエッチングユニット18の断面構成を示す。

【0045】図3に示すように、エッチングユニット18は、チャンバ26と、プラズマ形成管27と、を備える。

【0046】チャンバ26は、アルミニウム等から構成され、略円筒形状に形成されている。チャンバ26の内部には、ウェハWを載置する載置台28が設けられている。載置台28は、チャンバ26の底面に取り付けられた、例えば、石英製の支柱29により支持されている。

【0047】チャンバ26の下方には、載置台28およびチャンバ26内を所定の温度に加熱するための、ハロゲンランプ等の加熱ランプ30が配置されている。チャンバ26と加熱ランプ30の間には、石英等からなる透過窓31が配置されている。チャンバ26の底部には、照射口32が形成されており、透過窓31の端部は、照射口32の周囲に気密に接着されている。これにより、加熱ランプ30から放射された熱線は、透過窓31、照射口32を通して、チャンバ26内（載置台28の裏面）に照射される。

【0048】チャンバ26の底部の、支柱29の周囲には、排気口33が設けられている。排気口33は、真空ポンプ等を備える排気ラインに接続されている。排気ラインにより、チャンバ26内は、所定の圧力に設定される。

【0049】チャンバ26の側壁には、載置台28とほぼ同じ高さに、搬入出口34が設けられている。搬入出口34は、ゲートバルブ24を介して第2搬送室16と接続している。ゲートバルブ24の開放時には、搬入出口34を介して、ウェハWの搬入出が行われる。

【0050】プラズマ形成管27は、石英等から構成され、管状に構成されている。プラズマ形成管27は、チャンバ26の天部を貫通して取り付けられている。プラズマ形成管27の上端には、ガス導入口35が設けられ、ガス導入口35は、マスフローコントローラ36、37を介して窒素ガス源38および水素ガス源39に接続されている。これにより、ガス導入口35から、窒素（ $N_2$ ）と水素（ $H_2$ ）とからなる混合ガスが、プラズマ形成管27内に導入される。ここで、混合ガスは、例えば、窒素/水素=100sccm/10sccmで供

給される。

【0051】プラズマ形成管27の上部には、プラズマ形成部40が設けられている。プラズマ形成部40は、マイクロ波発生源41と、矩形導波管42と、エベンソン型導波管43と、を備える。

【0052】マイクロ波発生源41は、例えば、波長2.45GHzのマイクロ波を発生する。マイクロ波発生源41からのマイクロ波は、矩形導波管42およびエベンソン型導波管43を介して、プラズマ形成管27内に供給される。プラズマ形成管27の内部には、ガス導入口35から供給された窒素と水素の混合ガスが導入されており、供給されたマイクロ波は、混合ガスを活性化させる。これにより、プラズマ形成管27の上方から下方に向かって、ガスプラズマのダウンフローが形成される。

【0053】プラズマ形成管27の下端には、流出口44が設けられている。流出口44には、これに連通して、下方向へ傘状あるいは円錐状に拡がった石英等からなる覆い部材45が設けられている。覆い部材45により、流出口44から流出するガスは、拡散されてチャンバ26内に供給される。

【0054】流出口44の直下には、多数のガス孔46を備えるリング状のシャワーヘッド47が配置されている。シャワーヘッド47は、チャンバ26の壁を貫通する連通管48、および、連通管48に備えられたマスフローコントローラ49を介して、3フッ化窒素（ $NF_3$ ）ガス源50に接続されている。

【0055】シャワーヘッド47からは、 $NF_3$ ガスが供給され、 $NF_3$ ガスは、水素と窒素とからなる混合ガスプラズマのダウンフロー中に供給される。ここで、 $NF_3$ は、例えば、30sccmで供給される。プラズマ中では、水素および窒素は、ラジカル等の活性化状態にあり、 $NF_3$ 分子は、これらラジカル等との衝突などにより活性化され、解離してフッ素ラジカル等を生成する。ウェハW上に供給されるガスは、窒素ラジカル、水素ラジカル、フッ素ラジカル等を含むプラズマ状態にある。

【0056】上記のように形成されたプラズマが、ウェハWの表面と接触すると、ウェハWの表面には、SiとNとHとFとOとを含む膜（詳細には説明されていない）が形成される。この膜は、ウェハWを100℃以上に加熱すると、容易に昇華して、ウェハWの表面から除去される。以上のように、ウェハW表面の自然酸化膜（ $SiO_2$ 膜）は、プラズマのダウンフローにより除去される。

【0057】また、自然酸化膜（ $SiO_2$ 膜）が除去されたシリコン基板の表面には、シリコンのダングリングボンドが多数存在するが、これらはプラズマ中の水素（ラジカル）と結合する。これにより、基板表面は安定化する。

【0058】酸化処理ユニット19は、ラジアルラインスロットアンテナ (Radial Line Slot Antenna: RL SA) 型のプラズマ処理装置である。酸化処理ユニット19は、マイクロ波エネルギーを用いて処理ガスのプラズマを発生させ、このプラズマにより、シリコン基板101の表面を酸化し、シリコン酸化膜106を形成する。

【0059】図4に、酸化処理ユニット19の断面構成を示す。図4に示すように、酸化処理ユニット19は、略円筒形のチャンバ51を備える。チャンバ51は、アルミニウム等から構成されている。

【0060】チャンバ51内部の中央には、被処理体である半導体ウェハ (以下、ウェハW) の載置台52が配置されている。載置台52には、図示しない温調部が内蔵されており、温調部により、ウェハWは所定温度、例えば、室温〜600℃に加熱される。

【0061】チャンバ51の側壁には、載置台52の上面とほぼ同じ高さに、搬入出口53が設けられている。搬入出口53は、ゲートバルブ24を介して第2搬送室16と接続している。ゲートバルブ24の開放時には、搬入出口53を介して、ウェハWの搬入出が行われる。

【0062】チャンバ51の底部には、排気管54の一端が接続されており、他端は、真空ポンプ等の排気装置55に接続されている。排気装置55等により、チャンバ51内は、所定の圧力、例えば、4.0Pa〜0.13kPa (30mTorr〜1Torr) の圧力に設定される。

【0063】チャンバ51の側部上方には、ガス供給管56が設けられている。ガス供給管56は、酸素 ( $O_2$ ) ガス源57、水素 ( $H_2$ ) ガス源58およびアルゴン (Ar) ガス源59に接続されている。ガス供給管56は、チャンバ51の側壁の周方向に沿って、例えば、16カ所に均等に配置されている。このように配置されることにより、ガス供給管56から供給されるガスは、載置台52上のウェハWの上方に均等に供給される。

【0064】チャンバ51の上部には、開口60が設けられている。開口60の内側には、窓61が設けられている。窓61は、透過性材料、例えば、石英、 $SiO_2$  系のガラス、 $Si_3N_4$ 、 $NaCl$ 、 $KCl$ 、 $LiF$ 、 $CaF_2$ 、 $BaF_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $MgO$ などの無機物、また、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミドなどの有機物のフィルム、シート、から構成されている。

【0065】窓61の上には、例えば、ラジアルラインスロットアンテナ (以下、RL SA) 62が設けられている。RL SA 62の上には、高周波電源部63に接続された導波路64が設けられている。導波路64は、RL SA 62に下端が接続された扁平な円形導波管65

と、円形導波管65の上面に一端が接続された円筒型導波管66と、円筒型導波管66の上面に接続された同軸導波変換器67と、同軸導波変換器67の側面に直角に一端が接続され、他端が高周波電源部63に接続された矩形導波管68と、から構成されている。RL SA 62および導波路64は、銅板から構成されている。

【0066】円筒型導波管66の内部には、同軸導波管69が配置されている。同軸導波管69は、導電性材料よりなる軸部材からなり、その一端がRL SA 62の上面のほぼ中央に接続され、他端が円筒型導波管66の上面に同軸状に接続されている。

【0067】図5にRL SA 62の平面図を示す。図5に示すように、RL SA 62は、同心円上に設けられた複数のスロット62a、62a、…を表面に備える。各スロット62aは略方形の貫通した溝であり、隣接するスロット62aどうしは互いに直交して略Tの文字を形成するように配設されている。スロット62aの長さや配列間隔は、高周波電源部63より発生した高周波の波長に応じて決定されている。

【0068】高周波電源部63は、例えば、2.45GHzのマイクロ波を、例えば、500W〜5kWのパワーで発生する。高周波電源部63から発生したマイクロ波は、矩形導波管68内を矩形モードで伝送される。さらに、マイクロ波は、同軸導波変換器67にて矩形モードから円形モードに変換され、円形モードで円筒型導波管66に伝送される。マイクロ波は、さらに、円形導波管65にて拡げられた状態で伝送され、RL SA 62のスロット62aより放射される。放射されたマイクロ波は、窓61を透過してチャンバ51に導入される。

【0069】チャンバ51内は、所定の真空圧力にされており、ガス供給管56から、Ar、 $O_2$  および $H_2$  の混合ガスが、例えば、 $Ar/O_2/H_2 = 10:1:1$ で、チャンバ51内に供給される。窓61を透過したマイクロ波により、チャンバ51内の混合ガスに高周波エネルギーが伝達され、高周波プラズマが発生する。この際、マイクロ波をRL SA 62の多数のスロット62aから放射しているため、高密度のプラズマが生成される。ここで、RL SA 62を用いて形成されるプラズマ中の活性種は、0.7〜2eV程度の電子温度を有する。このように、RL SA 62によれば、活性の比較的に穏やかなプラズマ活性種が生成される。

【0070】生成された高密度プラズマへの曝露により、ウェハW表面の酸化が行われる。すなわち、生成したプラズマ中の、Arラジカルが、ウェハW表面のシリコン基板の表面に作用してエネルギーを与え、Si同士の結合を切断等する。さらに、酸素 (O) ラジカルが、SiとSi-O結合を形成する。このようにして、シリコン基板の表面が酸化され、表面に、例えば、1nm〜20nmのシリコン酸化膜が形成される。

【0071】この際、 $H_2$  から発生するHラジカルは、

Siのダングリングボンドと結合し、形成されるシリコン酸化膜を安定化させ、膜質を向上させる。

【0072】窒化処理ユニット20は、酸化処理ユニット19と同様の、RLSA型のプラズマ処理装置である。窒化処理ユニット20では、酸化処理ユニット19において形成されたシリコン酸化膜106の表面の一部を窒化し、シリコン窒化膜107を形成する。

【0073】窒化処理ユニット20は、図3に示す酸化処理ユニット19とほぼ同一の構成を有する。酸化処理ユニット19と異なる点は、酸素( $O_2$ )ガスの代わりに、窒素( $N_2$ )ガスを用いる点である。窒化処理において、 $Ar$ 、 $N_2$ および $H_2$ の混合ガスを、例えば、 $Ar/N_2/H_2 = 10:1:1$ の比率で用いる。なお、酸素の代わりに用いるガスは、窒素を含むガスであればよく、 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 等を用いてもよい。

【0074】窒化処理ユニット20でのプラズマ処理において、ウェハWの表面に形成されたシリコン酸化膜( $SiO_2$ 膜)は、活性化された $Ar$ ラジカル作用により、 $Si-O$ 結合が切断される。さらに、窒素系ガスより生成した窒素( $N$ )ラジカルが、解離したこの $Si$ と結合することにより、 $Si-N$ 結合が生成する。このようにして、表面のシリコン酸化膜の一部が窒化されて、 $0.5nm \sim 6nm$ のシリコン窒化膜( $SiN$ )膜107が形成される。

【0075】CVDユニット21は、窒化処理の施され、 $SiN$ 膜107が形成されたウェハWの表面上に、高誘電率膜108、ここでは、酸化 tantalum ( $Ta_2O_5$ )膜を形成する。図6に、CVDユニット21の断面構成を示す。

【0076】図6に示すように、CVDユニット21は、略円筒状のチャンバ70を備える。チャンバ70は、例えば、アルミニウムから構成されている。チャンバ70の内部中央には、ウェハWを保持するためのサセプタ71が設けられている。

【0077】チャンバ70の上部には、サセプタ71と対向するように、複数のガス供給孔72を有するシャワーヘッド73が設けられている。シャワーヘッド73には、処理ガス供給ラインが接続されている。処理ガス供給ラインには、処理ガス源74が配置されている。

【0078】 $Ta_2O_5$ 膜を形成する本例では、処理ガスは、例えば、 $100^\circ C \sim 200^\circ C$ に加熱気化した有機 tantalum 系ガス、例えば、ペンタエトキシ tantalum 系ガス( $Ta(OC_2H_5)_5$ )と、酸化性ガス及び水分を含む窒素ガス、キャリアガスとしての不活性ガス、例えば、アルゴンガスと、から構成されている。これらの処理ガスは、直前に、または、予め混合されてシャワーヘッド73に導入され、ガス供給口72からウェハWの表面全体に供給される。

【0079】サセプタ71の周囲には、複数のバッフル

孔75を備えるバッフルプレート76が配置されている。シャワーヘッド73からチャンバ70内に供給されたガスは、バッフル孔75を介して、下方へと流れる。チャンバ70の下部には、排気ポート77が複数設けられている。排気ポート77は、バッファータンク78に接続されている。バッファータンク78により、チャンバ70内に供給されたガスは、一旦貯留され、これにより、チャンバ70内の圧力に均一性が得られる。

【0080】また、バッファータンク78は、排気ラインに接続されている。排気ラインは、真空ポンプ等を備え、チャンバ70内を所定の圧力、例えば、 $0.13kPa$ ( $1Torr$ )に設定する。

【0081】サセプタ71の下方には、石英等からなる窓79を介して、加熱室80が配置されている。加熱室80には、ハロゲンランプ等の加熱ランプ81が設置されている。加熱ランプ81の、窓79を介したランプ加熱により、サセプタ71(およびチャンバ70内部)は、所定温度、例えば、 $300^\circ C \sim 600^\circ C$ に設定される。

【0082】チャンバ70の側壁には、サセプタ71とほぼ同程度の高さに、搬入出口82が設けられている。搬入出口82は、ゲートバルブ24を介して、第2搬送室16に接続されている。ゲートバルブ24の開放時には、第2搬送機構25により、ウェハWの搬入出が行われる。

【0083】上記構成のCVDユニット21において、例えば、CVD処理は、例えば、10分程度行われ、窒化処理ユニット20にて成膜された $SiN$ 膜107上に、例えば、 $1nm \sim 20nm$ の高誘電率膜( $Ta_2O_5$ 膜)108が形成される。

【0084】アニールユニット22は、酸化処理ユニット19とほぼ同一の構成を有する。アニールユニット22において、CVDユニット21にて成膜された高誘電率膜(金属系絶縁膜)108のアニール(改質)が行われる。すなわち、金属系絶縁膜108中に含まれる前駆体(金属エトキシド)由来の炭素( $C$ )と酸素プラズマとを反応させ、 $CO$ 、 $CO_2$ 等として除去する。これにより、炭素含有量の少ない、リーク電流等が低減された品質の高い高誘電率膜108が得られる。

【0085】なお、アニールユニット22にて用いられる処理ガスは、酸素ガス比を小さくするなど、酸化処理ユニット19におけるガス混合比とは異なるものとしてもよい。

【0086】予備ユニット23は、熱処理ユニット等の、他の処理ユニットとして適用可能な汎用ユニットである。また、ゲート絶縁膜の形成システム10全体のスループットを向上させるため、上記した各ユニット17～22を設けてもよい。さらに、予備ユニット23の数は、一基に限られず、複数設けてもよい。

【0087】以下、上記構成のゲート絶縁膜104の形

成システム10を用いたゲート絶縁膜104の形成方法について、図2を参照して説明する。

【0088】まず、ドレイン領域102およびソース領域103が形成されたウェハWを用意する。これらのウェハWは、所定枚数、例えば、25枚毎にカセットCに収容されて、カセットステーション11のカセット載置台13上に載置される。

【0089】第1搬送機構15は、カセットC内のウェハWを取り出し、ロードロックユニット17a内に載置する。その後、ロードロックユニット17a内は閉鎖され、第2搬送室16とほぼ同じ圧力に設定される。その後、ゲートバルブ24が開放され、第2搬送機構25は、ロードロックユニット17aからウェハWを取り出す。

【0090】第2搬送機構25は、ウェハWをエッチングユニット18に搬入し、載置台28上に載置する。その後、ゲートバルブ24は閉鎖され、エッチングユニット18の内部は、所定の圧力に設定される。

【0091】エッチングユニット18において、 $N_2$ と $H_2$ と $NF_3$ とからなるプラズマガスのダウンフローを用いたエッチングが行われる。これにより、ウェハW表面に形成されていた自然酸化膜( $SiO_2$ 膜)は除去される。また、同時に、ウェハW表面のシリコン(Si)のダングリングボンドには、水素(H)が結合し、安定な膜が形成される。

【0092】エッチング処理の後、エッチングユニット18の内部は、第2搬送室16とほぼ同じ圧力に設定される。続いて、ゲートバルブ24が開放され、第2搬送機構25により、エッチングユニット18からウェハWが搬出される。

【0093】ウェハWは、続いて、酸化処理ユニット19に送られる。第2搬送機構25は、酸化処理ユニット19内の載置台52上に載置される。その後、ゲートバルブ24は閉鎖され、酸化処理ユニット19の内部は所定の圧力に設定される。

【0094】酸化処理ユニット19では、RLSA型プラズマ処理装置により、シリコン基板101の表面の酸化処理行われる。これにより、シリコン基板101の表面に、例えば、1nm~20nmのシリコン酸化膜が形成される。

【0095】酸化処理の後、酸化処理ユニット19の内部は、第2搬送室16とほぼ同じ圧力に設定される。続いて、ゲートバルブ24が開放され、第2搬送機構25により、酸化処理ユニット19からウェハWが搬出される。次に、第2搬送機構25は、ウェハWを窒化処理ユニット20の内部に搬入する。ウェハWの搬入後、ゲートバルブ24は閉鎖され、窒化処理ユニット20の内部は所定の圧力に設定される。

【0096】窒化処理ユニット20では、RLSA型プラズマ処理装置により、シリコン基板101の表面の窒

化処理行われる。これにより、シリコン酸化膜の表面が窒化される。これにより、シリコン酸化膜の一部、例えば、0.5nm~6nmのシリコン窒化膜107が形成される。

【0097】窒化処理の後、窒化処理ユニット20の内部は、第2搬送室16とほぼ同じ圧力に設定される。続いて、ゲートバルブ24が開放され、第2搬送機構25により、窒化処理ユニット20からウェハWが搬出される。次に、第2搬送機構25は、ウェハWをCVDユニット21の内部に搬入する。ウェハWの搬入後、ゲートバルブ24は閉鎖され、CVDユニット21の内部は所定の圧力に設定される。

【0098】CVDユニット21では、CVD法により、シリコン窒化膜107の上に、高誘電率膜108、例えば、酸化タンタル膜が形成される。高誘電率膜108は、例えば、1nm~20nmの厚さで形成される。

【0099】CVD処理の後、CVDユニット21の内部は、第2搬送室16とほぼ同じ圧力に設定される。続いて、ゲートバルブ24が開放され、第2搬送機構25により、CVDユニット21からウェハWが搬出される。次に、第2搬送機構25は、ウェハWをアニールユニット22の内部に搬入する。ウェハWの搬入後、ゲートバルブ24は閉鎖され、アニールユニット22の内部は所定の圧力に設定される。

【0100】アニールユニット22では、RLSA型プラズマ処理装置を用いたアニール処理がウェハWに施される。すなわち、低エネルギーの酸素ガスプラズマを高誘電率膜108にさらして、膜中の炭素(C)を除去する。

【0101】アニール処理の後、アニールユニット22の内部は、第2搬送室16とほぼ同じ圧力に設定される。続いて、ゲートバルブ24が開放され、第2搬送機構25により、アニールユニット22からウェハWが搬出される。次に、第2搬送機構25は、ウェハWをロードロックユニット17bに搬入する。ウェハWの搬入後、ゲートバルブ24は閉鎖され、ロードロックユニット17bの内部は第1反動室とほぼ同じ圧力に設定される。

【0102】続いて、第1搬送機構15は、ロードロックユニット17bからウェハWを搬出し、カセット載置台13上のカセットCに収容する。以上の工程で、シリコン酸化膜106と、シリコン窒化膜107と、高誘電率膜108と、からなるゲート絶縁膜104の形成工程は終了する。

【0103】本発明は、上記の実施の形態に限られず、種々の変形、応用が可能である。以下、本発明に適用可能な上記の実施の形態の変形態様について、説明する。

【0104】上記実施の形態におけるエッチングユニット18の構成は一例であり、ウェハWの表面に形成された自然酸化膜( $SiO_2$ 膜)を効果的に除去可能な構成

であればどのような構成であってもよい。また、CVDユニット21の構成も一例であり、SiN膜上に酸化タンタル膜を形成可能な構成であればどのような構成であってもよい。また、酸化タンタル以外の高誘電率膜の成膜に適した構成としてもよい。

【0105】上記実施の形態では、エッチングユニット18を設け、ウェハW表面の自然酸化膜を除去するものとした。しかし、エッチングユニット18を設けず、酸化処理ユニット19にて、品質の低いシリコン酸化膜（自然酸化膜）を品質の高いシリコン酸化膜106に直接改質する構成としてもよい。

【0106】上記実施の形態において、酸化膜形成処理、窒化膜形成処理およびアニール処理は、それぞれ、酸化処理ユニット19、窒化処理ユニット20およびアニールユニット22において行うものとした。しかし、ガス供給系を統一するなどして、同一のユニットで行ってもよい。勿論、スループット、安全性の観点から、個別のユニットで行うことが望ましい。

【0107】上記実施の形態では、酸化処理ユニット19、窒化処理ユニット20およびアニールユニット22に用いるRLSA62および導波路64は、銅板から構成されるものとした。ここで、RLSA62および導波路64を構成する材料は、マイクロ波の伝搬ロスを抑えるため、導電率の高いAl、Cu、Ag/Cuメッキしたステンレススチールなどを好適に用いることができる。

【0108】また、環状導波路64への導入口の向きは、環状導波路64内のマイクロ波伝搬空間に効率よくマイクロ波を導入できるものであれば、H面T分岐や接線導入のようにH面に平行にマイクロ波を導入できる向き、又は、E面T分岐のようにH面に垂直に導入できる向きでもよい。また、マイクロ波の進行方向のスロット間隔は、管内波長の $1/2$ もしくは $1/4$ が最適である。

【0109】さらにまた、2.45GHzの波長のマイクロ波を用いて、高密度プラズマを発生させるものとした。しかし、これに限らず、マイクロ波周波数は、0.8GHz~20GHzの範囲から適宜選択することができる。

【0110】また、酸化、窒化等に用いるガスは、上記のものに限られない。例えば、Arのかわりに、Xe、Ne、Kr、He等の他の希ガスをを用いてもよい。しかし、膜表面へのダメージを抑えつつ、SiO<sub>2</sub>の結合を効果的に切断するには、Arを用いることが望ましい。また、窒化においては、N<sub>2</sub>の他に、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、NO、NO<sub>2</sub>等の窒素含有ガスをを用いてもよい。

【0111】また、上記混合ガスの混合比も、上記のもの（Ar/N<sub>2</sub>（O<sub>2</sub>）/H<sub>2</sub>=10:1:1）に限らず、例えば、N<sub>2</sub>（O<sub>2</sub>）、H<sub>2</sub>の存在比をそれぞれ、0.05~5の範囲内で変化させてもよい。さらに、ウ

ェハ温度、反応圧力等の反応条件に関しても、上記例に限らず、高品質のSiN膜が形成可能であれば、いかなるものであってもよい。

【0112】上記実施の形態では、アニールユニット22にて、RLSA型プラズマ処理装置を用いて高誘電率膜中の炭素を除去するものとしたが、アニールユニット22を省いた構成としてもよい。勿論、アニールユニット22を備えた構成の方が、高品質の膜を形成可能であることはいうまでもない。

【0113】上記実施の形態において、積層ゲート絶縁膜104の最下層の膜は、シリコン酸化膜106としたが、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜等のシリコン系膜であってもよい。この場合、酸化処理ユニット19において使用するガスの種類を変えればよい。例えば、シリコン窒化（SiN）膜であれば、酸素ガスの代わりに窒素ガスをを用い、酸窒化（SiON）膜であれば、さらに、窒素ガスを加える構成とすればよい。

【0114】上記実施の形態では、高誘電率膜108として、無機（金属）系膜を用いるものとした。しかし、CVD等により形成したSiC、SiN等からなる、他の膜を用いてもよい。この場合、RLSAプラズマにより形成されたSiN膜は、ゲート電極（ポリシリコン）からの不純物のシリコン基板側への突き抜けを防ぐ膜として機能する。

【0115】上記実施の形態では、MISFET100のゲート電極105は、ポリシリコンから構成するものとした。しかし、これに限らず、シリコン-ゲルマニウムから構成してもよい。

【0116】上記実施の形態では、MISFET100のゲート絶縁膜104を形成するものとした。しかし、これに限らず、本発明をフラッシュメモリ等の、他の素子の絶縁膜の形成に適用することが可能である。

【0117】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、信頼性の高い絶縁膜の形成方法および形成システムが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態にかかるゲート絶縁膜の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態にかかるゲート絶縁膜の形成システムの構成を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態にかかるエッチングユニットの構成を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態にかかる酸化処理ユニットの構成を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態にかかるRLSAの上面図である。

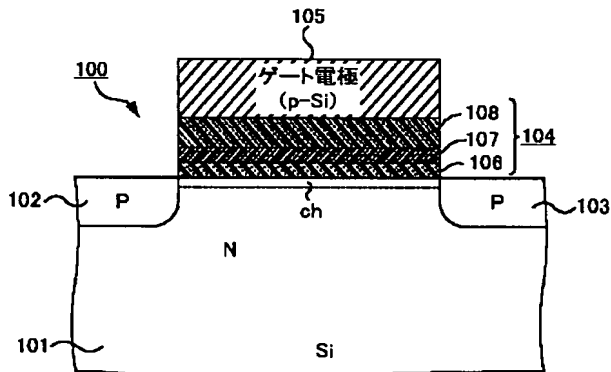
【図6】本発明の実施の形態にかかるCVDユニットの構成を示す図である。

【符号の説明】

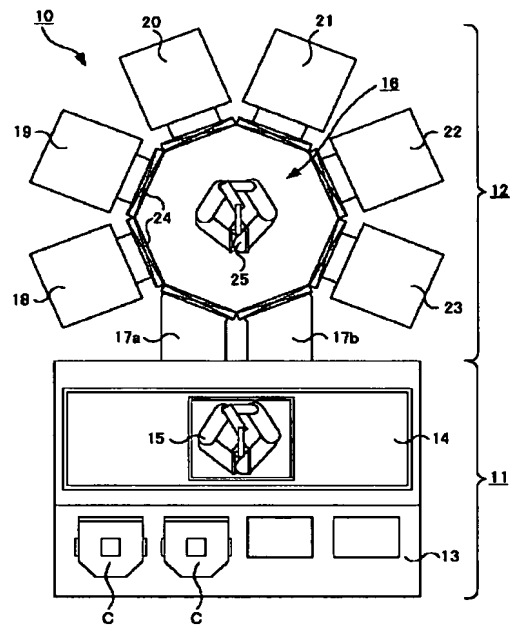
- 10 絶縁膜の形成システム
- 11 カセットステーション
- 12 処理ステーション
- 17 ロードロックユニット
- 18 エッチングユニット
- 19 酸化処理ユニット
- 20 窒化処理ユニット
- 21 CVDユニット

- 22 アニールユニット
- 23 予備ユニット
- 100 MISFET
- 101 シリコン基板
- 104 ゲート絶縁膜
- 106 シリコン酸化膜
- 107 シリコン窒化膜
- 108 高誘電率膜

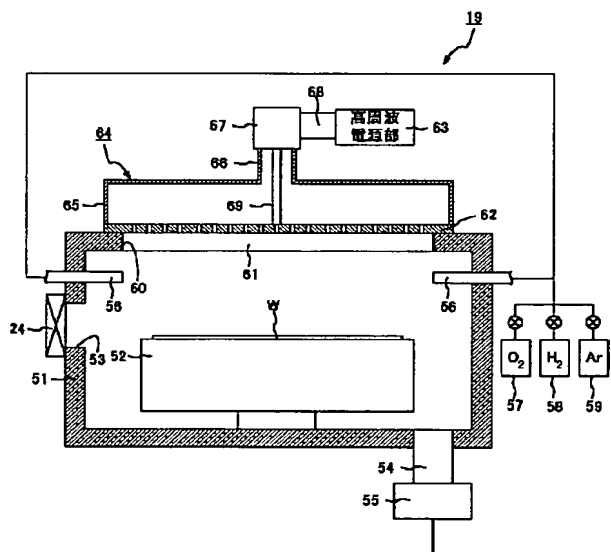
【図1】



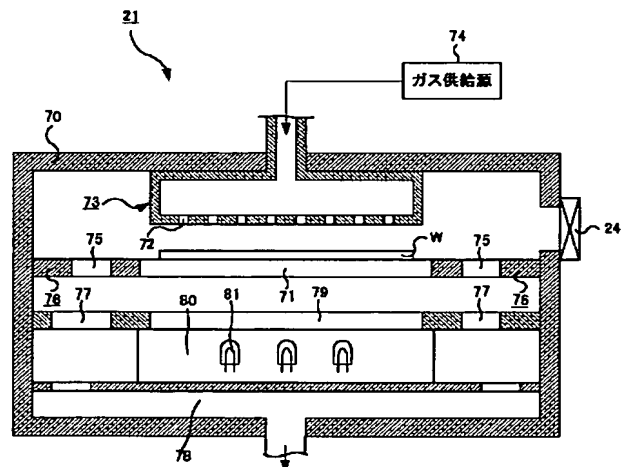
【図2】



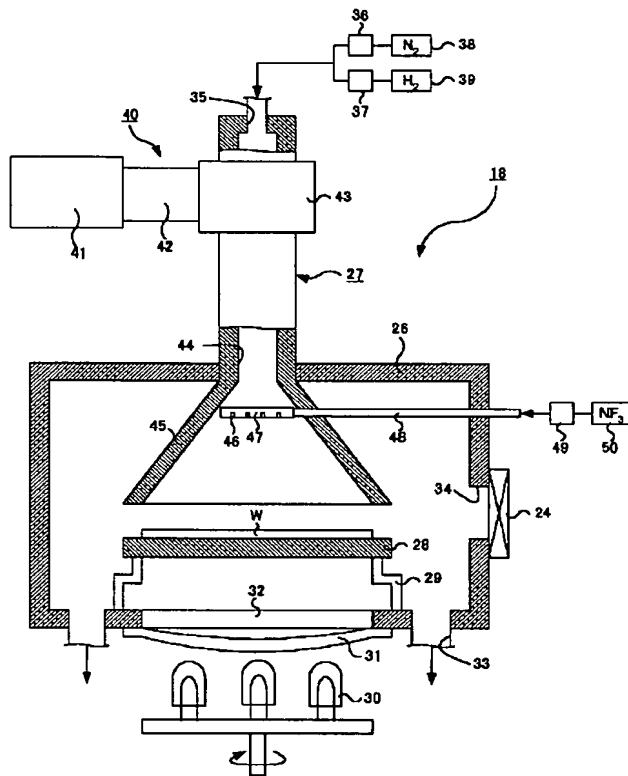
【図4】



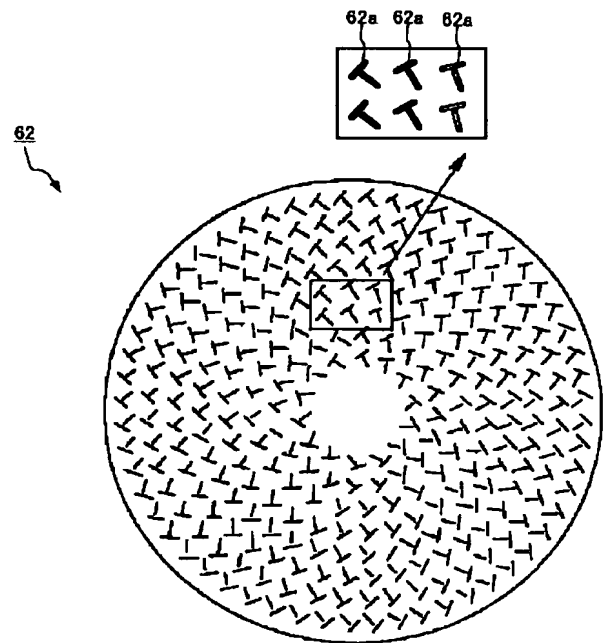
【図6】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 中西 敏雄  
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
送センター 東京エレクトロン株式会社内

Fターム(参考) 5F058 BA01 BD02 BD04 BD05 BD06  
BD10 BD15 BF08 BF27 BF29  
BF30 BF73 BF74 BH16 BJ01  
5F140 AA24 AA28 BA01 BD02 BD05  
BD07 BD09 BD11 BD12 BD13  
BE07 BE08 BE09 BE10 BF01  
BF04